

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

10 FEB 2005

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 103 61 495.8

Anmeldetag: 23. Dezember 2003

Anmelder/Inhaber: Continental Teves AG & Co oHG,
60488 Frankfurt/DE

Bezeichnung: Bremsdruck-Regelverfahren

IPC: B 60 T, B 62 D

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 12. Januar 2005
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag


Brosig

Continental Teves AG & Co. OHG

22.12.03
P 10856
GP/GF/AD

Urs Bauer,
Anthony Dollet
Stephan Capellaro
Holger Schmidt

Bremsdruck-Regelverfahren

Die Erfindung betrifft ein Bremsdruck-Regelverfahren, bei dem Größen ermittelt werden, die durch Bremsvorgänge auf unterschiedlichen Fahrbahnreibungswerten (μ -split) ausgelöste unterschiedliche Bremskräfte wiedergeben, wobei ein an den einzelnen Rädern hervorgerufenen Gierverhalten eines Fahrzeugs, das mindestens aus dem ermittelten Bremskraft-Unterschied bestimmt wird, durch einen Eingriff in ein steuerbares bzw. regelbares Lenksystem des Fahrzeugs zumindest teilkompensiert wird.

Die Erfindung betrifft dabei ein Verfahren zur Stabilisierung eines Fahrzeugs und Verkürzung des Bremswegs bei Bremsungen auf inhomogenen Fahrbahnen mit unterschiedlichen Reibwerten.

Bei Bremsungen auf inhomogenen Fahrbahnen (d.h. Fahrbahnen mit unterschiedlichen Reibwerten auf der linken bzw. rechten Fahrzeugseite) treten aufgrund der unterschiedlichen Reibwerte (rechts - links) asymmetrische Bremskräfte auf. Aus diesen asymmetrischen Bremskräften resultiert ein Giermoment um die Fahrzeughochachse, welches das Fahrzeug in eine Gierbewegung in Richtung der Straßenseite mit dem höheren Reibwert versetzt. In Figur 1 ist ein Fahrzeug 10 auf einer derartigen inhomogenen Fahrbahn dargestellt.

Fahrzeuge ohne das elektronische Bremssystem ABS werden in solchen Fahrsituationen instabil, da beim Blockieren der Räder die Seitenführungskraft der Reifen verloren geht. Das durch die asymmetrischen Bremskräfte entstandene Giermoment versetzt das Fahrzeug dabei in schnelle Drehbewegungen um die Fahrzeughochachse zur Hochreibwertseite hin (Schleudern).

Bei Fahrzeugen mit dem elektronischen Bremssystem ABS wird bei Bremsungen in diesen kritischen Situationen das Schleudern verhindert, da durch die Vermeidung blockierender Räder die Seitenführungskraft der Räder erhalten bleibt. Das Giermoment um die Fahrzeughochachse, resultierend aus den asymmetrischen Bremskräften, wird dadurch aber nicht kompensiert, sondern der Fahrer muss dies durch Gegenlenken ausgleichen. Um den Fahrer in solch kritischen Fahrsituationen (plötzliches Auftreten des Giermoments) nicht zu überfordern, wird die ABS-Regelstrategie in solchen Fahrsituationen angepasst, wie in den Figuren 2a und 2b näher dargestellt. Dabei wird während dem Anbremsen an der Vorderachse der Druckaufbau derart gesteuert, daß die Druckschere (Druckdifferenz) an der Vorderachse zwischen dem Rad auf der Hoch- und Niedrigreibwertseite nur langsam aufgebaut wird. Dies führt dazu, dass sich das Giermoment um die Fahrzeughochachse nur langsam aufbaut und dem Fahrer ausreichend Zeit zum Gegenlenken bleibt (Giermomentbegrenzung an der Vorderachse). Gleichzeitig wird die Hinterachse derart unterbremsst, dass an beiden Rädern nur der Bremsdruck des Rades auf der Niedrigreibwertseite zugelassen wird (SelectLow). Dadurch steht an der Hinterachse immer ausreichend Seitenführungspotential zur Verfügung und das Fahrzeug ist durch Lenkeingriffe (Gegenlenken) für den Fahrer leicht zu stabilisieren. Durch diese beiden ABS-Maßnahmen, Giermomentbegrenzung an

der Vorderachse und SelectLow an der Hinterachse, deren prinzipiellen Druckverläufe in den Figuren 2a bzw. 2b dargestellt sind, wird aber sehr viel Bremsleistung verschenkt, da das Reibwertpotential der Hochreibwertseite nicht ideal ausgenutzt wird. Dies resultiert in einem deutlich verlängerten Bremsweg, der dennoch als Vorteil anzusehen ist, gegenüber einem Fahrzeug ohne ABS, welches instabil wird.

Diese, den Bremsweg verlängernde Giermomentenaufbauverzögerung kann bei Anwendung einer Kompensation durch einen vom Fahrer unabhängigen, selbsttätigen Lenkeingriff entfallen oder verringert werden. Hierzu ist es aus der DE 40 38 079 A1 bekannt, das bei einer ABS Regelung in einer μ -Splitt Fahrsituation auftretende Giermoment zumindest teilweise dadurch zu kompensieren, dass ein von der Differenz der getrennt eingeregelter Bremsdrücke abhängiger Kompensations-Lenkwinkel eingestellt bzw. dem vom Fahrer vorgegebenen Lenkwinkel überlagert wird. Der autonome Kompensations-Lenkwinkel (automatisches Gegenlenken) verbessert die Beherrschbarkeit des Fahrzeugs bei Bremsungen auf inhomogenen Fahrbahnen. Dazu ist ein aktives Lenksystem notwendig, d.h. ein Lenksystem, mit dem sich aktiv und unabhängig von der Fahrervorgabe ein zusätzlicher Lenkwinkel an den Rädern erzeugen lässt. Dies ist beispielsweise mit einer Überlagerungslenkung oder einem Steer-by-Wire Lenksystem möglich.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Verfügung zu stellen, das eine Optimierung der Bremsleistung ermöglicht ohne dass die Stabilität des Fahrzeugs verringert wird.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass die Regelstrategie des Bremsdruck-Regelverfahrens in Abhängig-

keit vom fahrdynamischen Zustand des Fahrzeugs aus wenigstens zwei Regelstrategien ausgewählt wird und bei der einen Regelstrategie wenigstens eine Unterscheidung zwischen einer Geradeausfahrt und einer Kurvenfahrt des Fahrzeugs getroffen wird.

Vorteilhaft ist, dass bei der einen Regelstrategie der Bremsdruck an einer Achse des Fahrzeugs nach dem „Select-Low Prinzip“ geregelt wird, bei dem der Bremsdruck an den beiden Rädern der Achse auf den gleichen Bremsdruck des Rades auf der Niedrigreibwertseite geregelt wird.

Bei der anderen Regelstrategie ist es vorteilhaft, dass der Bremsdruck an einer Achse des Fahrzeugs radindividuell geregelt wird, wobei an beiden Rädern der Achse unterschiedliche Bremsdrücke der Räder in Abhängigkeit vom aktuellen Fahrzustand bestimmt werden.

Die Aktivierung der der anderen Regelstrategie, mittels der die Bremsleistung optimiert werden kann, erfolgt dann, wenn mindestens eine, vorzugsweise einige oder alle der folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- a) das Fahrzeug befindet sich in einer Geradeausfahrt
- b) es wird eine Fahrsituation mit seitenweise unterschiedlichen Reibwerten erkannt
- c) es befindet sich nur ein Rad in der ABS-Regelung
- d) die Niedrigreibwertseite wird erkannt
- e) die Druckdifferenz an den Rädern kann kontrolliert werden.

Zweckmäßig werden die Bremsdrücke durch die folgenden Schritte optimiert

Ermitteln eines Stabilitätsindex aus fahrdynamischen Größen, die die Gierrate des Fahrzeugs, die Abweichung der Gierrate

von der Referenzgierrate (ESP-Regeldifferenz), die Gierbeschleunigungsabweichung, dem Lenkwinkel bzw. dem zugestellten Gegen-Lenkwinkel eines aktiven Lenksystems und/oder Größen wie Schwimmwinkel, Schwimmwinkelgeschwindigkeit und/oder Querschleunigung wiedergeben, und Einsteuern bzw. Modifizieren eines Bremsdruckes mit einem Druckaufbau- und/oder Druckabbaugradienten am Hochreibwert- rad in Abhängigkeit von dem berechneten Stabilitätsindex.

Zur Erhaltung der Stabilität des Fahrzeugs ist vorgesehen, dass die Druckdifferenz zwischen dem Rad auf der Niedrigreibwertseite und dem Rad der Hochreibwertseite begrenzt wird.

Vorteilhaft ist, dass bei Ausfall des steuerbaren bzw. regelbaren Lenksystems auf die eine Regelstrategie (Select-Low) zurückgegriffen wird.

Fahrdynamikregler mit mindestens einer ESP und einer ABS Funktion, die mit einem Regler und/oder einer Steuerung zur Lenkungskorrektur verbunden sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Regler so ausgebildet ist, dass er das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6 ausführt.

Die Modifizierung der einen Regelstrategie (Select-Low-Prinzip) hin zur anderen Regelstrategie („Aufweichung“ des Select-Low Prinzips) kann dabei abhängig vom fahrdynamischen Zustand des Fahrzeugs wie folgend beschrieben geschehen:

- (1) Aktivierung der Select-Low Aufweichung
- (2) Bestimmung der Bremsdruckdifferenz an der Hinterachse auf Basis des aktuellen Fahrzustands
- (3) Begrenzung der Bremsdruckdifferenz an der Hinterachse

auf Basis des aktuellen Fahrzustands und der aktuellen Bremsdrücke bzw. Bremsdruckverhältnis an der Vorderachse

zu 1.) Aktivierung der Select-Low Aufweichung

Eine Aktivierung der Aufweichung des Select-Low Prinzips erfolgt beispielsweise nur, wenn die Situation μ -split erkannt wurde, das Fahrzeug sich in einer Geradeausfahrt und nicht in einer Kurvenfahrt (nicht curve-split) befindet, nur ein Rad der Hinterachse sich in ABS-Regelung befindet, die Niedrigreibwertseite eindeutig erkannt ist und wenn vorhanden die Drucksensoren an der Hinterachse für die präzise Einregelung der Druckdifferenz fehlerfrei arbeiten. Wenn die Select-Low Aufweichung nicht über mindestens oben genannte Bedingungen aktiviert wird, wird nach der normalen ABS-Regelstrategie weiterverfahren.

zu 2.) Bestimmung der Bremsdruckdifferenz an der Hinterachse

Aus fahrdynamischen Größen wird der aktuelle Fahrzustand in Form eines Stabilitätsindex bestimmt. Dieser Stabilitätsindex berechnet sich z.B. aus der aktuellen Gierrate des Fahrzeugs, der Gierratenabweichung, der Gierbeschleunigungsabweichung, dem Lenkwinkel bzw. bei aktiv gegenlenkenden System der vom Fahrdynamikregelsystem automatisch zugestellte Gegen-Lenkwinkel und/oder weiteren fahrdynamisch relevanten Größen wie Schwimmwinkel, Schwimmwinkelgeschwindigkeit und/oder Querschleunigung. Das Vorzeichen des Stabilitätsindex ergibt sich dabei aus der vorliegenden Richtung der Störung (Niedrigreibwertseite links oder rechts). D.h. dass zum Beispiel wenn die Niedrigreibwertseite auf der linken Seite ist, die Störung das Fahrzeug in Richtung der Hochreibwertseite, also nach rechts (negative Gierrate),

gieren lässt. Giert das Fahrzeug in dieser Situation allerdings auch in Richtung Niedrigreibwert, also nach links (positive Gierrate), so ist das Fahrzeug stabil und es ergibt sich ein positiver Stabilitätsindex. Im umgekehrten Fall, dass die Niedrigreibwertseite auf der rechten Seite ist, so zeugt eine Gierbewegung des Fahrzeugs nach rechts (negative Gierrate) von Stabilität und es ergäbe sich ohne Berücksichtigung, ob die Niedrigreibwertseite links oder rechts ist, ein negativer Stabilitätsindex. Daher wird, wenn die Niedrigreibwertseite auf der rechten Seite ist, der aus den fahrdynamischen Größen ermittelte Stabilitätsindex mit (-1) multipliziert. Somit deutet ein positiver großer Wert des Stabilitätsindex auf Stabilität des Fahrzeugs hin, ein negativer Wert oder ein Wert nahe null hingegen auf Instabilität bzw. Grenzwertigkeit der Fahrzeugstabilität.

Wenn der Stabilitätsindex positiv ist und einen gewissen Schwellenwert „pinc_thr“ überschreitet, wird ein Druckaufbau am Hinterrad auf der Hochreibwertseite mit einem bestimmten Druckaufbaugradienten (abhängig vom Wert des Stabilitätsindex) zugelassen. Dieser Druckaufbau zur Bremswegoptimierung ist in dieser Situation zulässig ohne das Fahrzeug dadurch zu destabilisieren, da das Fahrzeug ein hohes Maß an Stabilität aufweist.

Wenn der Stabilitätsindex kleiner ist als der Schwellwert „pdec_thr“, so wird am Hinterrad auf der Hochreibwertseite der Bremsdruck abgebaut und zwar mit einem vom Stabilitätsindex abhängigen Druckabbaugradienten. Somit wird das Seitenkraftpotential an der Hinterachse wieder erhöht und somit einer drohenden Instabilität entgegengewirkt bzw. diese verhindert.

Wenn der Stabilitätsindex zwischen den beiden Schwellwerten liegt, wird der Bremsdruck am Hochreibwert-Hinterrad konstant gehalten (grenzwertiges Fahrzeugverhalten).

Unabhängig von der Größe des Stabilitätsindex wird, wenn das Hinterrad auf der Hochreibwertseite eine Blockiertendenz (Rad tief im Schlupf) zeigt, an diesem Hinterrad der Bremsdruck abhängig vom aktuellen Radschlupf abgebaut (maximal auf den Bremsdruck des Niedrigreibwertrads = Select-Low) falls dies nicht bereits vom ABS-System initiiert worden ist. Somit wird an der Hinterachse immer ausreichend Seitenkraftpotential zur Verfügung gestellt um die Stabilität des Fahrzeugs zu gewährleisten.

zu 3.) Begrenzung der Bremsdruckdifferenz an der Hinterachse

Um an der Hinterachse immer ausreichend Seitenkraftpotential zu gewährleisten wird die Druckdifferenz an der Hinterachse bzw. der Bremsdruck am Hochreibwertrad in Bezug auf den Bremsdruck am Niedrigreibwertrad begrenzt.

- **Geschwindigkeitsabhängige Begrenzung:**
Bei hohen Fahrgeschwindigkeiten wird nur eine kleine oder gar keine Druckdifferenz zwischen Niedrigreibwertrad und Hochreibwertrad erlaubt, da bei hohen Geschwindigkeiten das Fahrzeug tendenziell stärker zu Instabilitäten neigt. Durch diese Begrenzung wird somit bei hohen Geschwindigkeiten viel Seitenkraftpotential an der Hinterachse als Stabilitätsreserve vorgehalten.
- **Begrenzung der Druckdifferenz auf 0 bei Wechsel der Niedrigreibwertseite:** (z.B. Wechsel von links nach rechts)

Wenn ein Wechsel der Niedrigreibwertseite (z.B. aufgrund μ -Fleck oder Schachbrett) erkannt wird, so wird die erlaubte Druckdifferenz an der Hinterachse auf 0 reduziert, d.h. entsprechend dem Select-Low Prinzip. Auch in diesem Fall wird dadurch die Seitenkraftreserve an der Hinterachse erhöht, weil sich mit dem Wechsel der Niedrigreibwertseite auch die Richtung der wirkenden Störung ändert und das Fahrzeug dadurch in der Folgezeit schnell zu Instabilitäten neigen kann.

- Begrenzung der Druckdifferenz auf Druckverhältnis der Vorderachse:

Bei einer ABS-Regelung schlagen sich die Reibwertverhältnisse in den ABS-Bremsdrücken nieder und bei einer Vorwärtsfahrt kommt, bedingt durch die Fahrzeuggeometrie, die Vorderachse zeitlich kurz vor der Hinterachse mit den vorliegenden physikalischen Straßenbedingungen (Reibwert) in Kontakt. Somit stellen sich an der Vorderachse die Bremsdrücke den Reibwerten entsprechend ein, wie die Bedingungen kurz danach an der Hinterachse vorliegen werden. Daher wird die Bremsdruckdifferenz bzw. das Bremsdruckverhältnis an der Hinterachse auf das Bremsdruckverhältnis der Vorderachse begrenzt. Um der Hinterachse noch zusätzliches Seitenkraftpotential zu erhalten, kann die Bremsdruckdifferenz bzw. das Bremsdruckverhältnis an der Hinterachse auf beispielsweise nur 80% des Bremsdruckverhältnis der Vorderachse begrenzt werden.

Vorteil:

Auflösung des Zielkonflikts zwischen Bremsleistung und Garantie der Fahrzeugsstabilität bei Bremsungen auf inho-

mogenen Fahrbahnen. Durch das Verfahren wird die Bremsleistung optimiert wobei aber gleichzeitig die Stabilität des Fahrzeugs gewährleistet bleibt.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in den Zeichnungen dargestellt und wird im Folgenden näher beschrieben.

Es zeigen:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung der asymmetrischen Bremskräfte eines Fahrzeugs und des daraus resultierenden Störgiermoments bei einer μ -Split Fahrbahn

- Fig. 2a den Druckverlauf an der Vorderachse bei aktiver Giermomentbegrenzung nach dem Stand der Technik,

- Fig. 2b den Druckverlauf an der Hinterachse bei aktivem select low nach dem Stand der Technik,

- Fig. 3 ein Blockschaltbild mit der Darstellung des Regelsystems mit Störgrößenaufschaltung und überlagerter Fahrzustandsregelung,

- Fig. 4 ein Blockschaltbild mit der Darstellung der Störgrößenaufschaltung mit Schätzung des Störgiermoments,

- Fig. 5 ein Blockschaltbild mit der Darstellung der überlagerten Fahrzustandsregelung

- Fig. 6 ein Blockschaltbild mit der Darstellung der Bestimmung der Druckdifferenz an der Hinterachse aus dem fahrdynamischen Zustand des Fahrzeugs
- Fig. 7a den Druckverlauf an der Vorderachse mit angepasster Giermomentbegrenzung nach der Erfindung
- Fig. 7b den Druckverlauf an der Hinterachse aufgrund der Modifizierung des SelectLows nach der Erfindung
- Fig. 8 eine Darstellung der Fahrzeuggeometrie
- Fig. 9 eine Darstellung des ABS-Regelzyklus
- Fig. 10 eine Darstellung des Fahrdynamikreglers
- Fig. 11 eine Darstellung des Signalfusses der anderen regelstrategie
- Fig. 12 eine Darstellung der Aktivierung der anderen Regelstrategie
- Fig. 13 eine Darstellung der Druckaufbau-/Druckabbau-Phasen
- Fig. 14 eine Darstellung der Begrenzung der Druckdifferenz

Die Bestimmung des für das automatische Gegenlenken notwendigen Radeinschlagwinkels wird von einer Recheneinheit 30 (Figur 3) ausgeführt, welche den Radeinschlagwinkel aus zwei Anteilen (Störgrößenaufschaltung und überlagerte Fahrzustandsregelung) zusammensetzt.

Der erste Anteil ergibt sich mit Hilfe einer Störgrößenaufschaltung bzw. Störgrößenkompensation des während der Bremsung durch die asymmetrischen Bremskräfte hervorgerufenen Störgiermoments \hat{M}_x . Dieses Störgiermoment wird in einer in

Figur 4 schematisch dargestellten Ermittlungseinheit 40 im wesentlichen zuerst aus den Bremsdruckinformationen der einzelnen Räder entsprechend den Gleichungen 1 und 2 auf den Seiten 28 und 29 geschätzt. Der Ermittlungseinheit werden hierzu als Eingangsgrößen die Radbremsdrücke p_i , die Raddrehzahlen ω_i und der rückgeführte Radeinschlagswinkel δ_{wHL} zugeführt. Zur Ermittlung der Radbremsdrücke ist ein elektronisches Bremssystem erforderlich, welches entweder die Bremsdrücke an den einzelnen Rädern modellbasiert schätzt bzw. beobachtet, die Bremsdrücke an den einzelnen Rädern mit Hilfe von Drucksensoren misst oder ein Brake-by-Wire System (EHB/EMB), welches auf diesen Größen basiert. Die Bestimmung des Störgiermoments beruht nach Gleichung 2 auf den Bremskräften $\hat{F}_{x,i}$ an den Rädern. Die Bremskräfte können, wie in Gleichung 1 angegeben, im wesentlichen aus den Bremsdruckinformationen berechnet werden oder es können auch Systeme zum Einsatz kommen, welche direkt die Bremskräfte messen (z.B. Seitenwandtorsionssensor, Radnaben, o.ä.). Aus dem geschätzten Störgiermoment, wird abhängig von Fahrzustandsgrößen (z.B. Fahrzeuggeschwindigkeit, Bremsdruckdifferenz zwischen Hoch- und Niedrigreibwert, mittleres Bremsdruckniveau, u.s.w.) adaptiv der zur Kompensation des Störgiermoments nötige Radeinschlagswinkel δ_z berechnet (Figur 4). Die Störgrößenaufschaltung agiert aus querdynamischer Sicht als reine Steuerung. Dies bewirkt, dass das Störgiermoment nicht in allen Fällen ideal kompensiert wird, da es sich mit anderen Störungen und Ungenauigkeiten überlagert, die nicht erfasst werden. Ungenauigkeiten können dabei zum Beispiel durch Veränderungen des Bremsscheibenreibwerts auftreten.

Daher wird der Störgrößenaufschaltung, wie in Figur 3 dargestellt, eine Fahrzustandsregelung 50 überlagert. Diese in

Figur 5 dargestellte und später noch näher beschriebene Fahrzustandsregelung bestimmt, abhängig von Fahrzustandsgrößen, wie der Gierrate und optional zusätzlich auch von der Querbesehleunigung oder dem Schwimmwinkel des Fahrzeugs, einen zusätzlichen Radeinschlagwinkel δ_R . Die Einrichtung 50 bzw. der Regler arbeitet adaptiv, d.h. abhängig von beispielsweise der Fahrzeuggeschwindigkeit v werden die Reglerverstärkungen der einzelnen zurückgeführten Fahrzustände angepasst.

Diese beiden Lenkwinkel-Stellanforderungen (aus Störgrößen-aufschaltung und überlagerter Fahrzustandsregelung) werden bevorzugt in einem Addierer 31 addiert und vom aktiven Lenksystem in Form eines Radeinschlagwinkels δ_{WHL} eingestellt. Die Bestimmung des zur Stabilisierung benötigten Radeinschlagwinkels δ_{WHL} und das Einstellen des Radeinschlagwinkels geschieht dabei viel schneller als ein Durchschnittsfahrer die entsprechende Situation erkennen und per Gegenlenken darauf reagieren kann. Diese schnelle Reaktion des Regelsystems und des aktiven Lenksystems ermöglichen es, das elektronische Bremssystem ABS derart anzupassen, dass an den einzelnen Rädern (besonders auf der Hochreibwertseite) das Reibwertpotential besser ausgenutzt werden kann. Hierzu werden die Regelstrategien des ABS auf inhomogenen Reibwerten modifiziert:

Die Gierrmomentbegrenzung an der Vorderachse wird stark abgeschwächt, so dass sich an der Vorderachse schnell ein großer Druckunterschied zwischen dem Rad auf der Hoch- und dem der Niedrigreibwertseite aufbaut (hoher Druckaufbaugradient am Hochreibwerttrad). Nahezu gleichzeitig zum Aufbau des Druckunterschieds entsteht ein Gierrmoment um die Fahrzeughochachse. Aufgrund der Schätzung des Störgierrmoments aus der

Bremsdruckinformation entsprechend den Gleichungen 1 und 2 (Seiten 28, 29) oder mit Hilfe von direkt die Reifenkräfte messenden Systemen wird vom Regelsystem sofort gegengelenkt, noch bevor der Fahrer die Situation am Gierverhalten des Fahrzeugs erkennen kann. Als zweite Maßnahme zur Erreichung einer besseren Bremsleistung wird auch das SelectLow modifiziert und zwar derart, dass auch an der Hinterachse eine Druckdifferenz zugelassen wird. Diese Druckdifferenz wird aber nicht zu jeder Zeit zugelassen, sondern abhängig vom Lenkwinkel, der Fahrzeuggeschwindigkeit und von Fahrzustandsgrößen begrenzt (Gleichung 3, Figur 6). Zeigt der Radeinschlagwinkel zur Niedrigreibwertseite und dreht sich das Fahrzeug in Richtung Niedrigreibwertseite, so wird eine Druckdifferenz an der Hinterachse zugelassen. Dadurch ergibt sich auf der Hochreibwertseite eine größere Bremskraft, das Störgiermoment vergrößert sich und gleichzeitig vermindert sich an diesem Rad das Seitenkraftpotential. Durch das größere Störgiermoment stoppt die Drehung in Richtung Niedrigreibwertseite und das Fahrzeug beginnt eine Drehung in Richtung Hochreibwertseite. Durch das Drehen in Richtung Hochreibwertseite verringert sich gleichzeitig wieder die zugelassene Druckdifferenz an der Hinterachse und somit die Bremskraft auf der Hochreibwertseite, was wiederum zu mehr Seitenkraftpotential am Hinterrad auf der Hochreibwertseite führt. Hierdurch und durch die überlagerten Lenkeingriffe des Regelsystems im Zusammenspiel mit dem aktiven Lenksystem wird das Fahrzeug stabilisiert. Der Fahrer kann aber trotzdem, je nach seinen Lenkvorgaben in Richtung Hoch- oder Niedrigreibwertseite fahren. Damit am Hinterrad auf der Hochreibwertseite nicht zu viel Seitenkraftpotential verloren gehen kann, wird die durch die fahrdynamische Aufweichung des SelectLow's zugelassene Druckdifferenz an der Hinterachse auf eine Maximaldruckdifferenz begrenzt. Bei hoher

Geschwindigkeit oder steigender Querbeschleunigung kann diese maximal zulässige Druckdifferenz an der Hinterachse bis auf null (entspricht SelectLow) reduziert werden.

Diese Modifikationen in der ABS-Regelstrategie (sowohl hoher Druckaufbaugradient bei der Gierrmomentbegrenzung an der Vorderachse, sowie das je nach Fahrzustand aufgeweichte SelectLow an der Hinterachse) bewirken eine wesentlich verbesserte Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Reibwertpotentials. Hierdurch lässt sich eine signifikante Bremswegverkürzung erzielen.

Bei Ausfall des aktiven Lenksystems wird auf die herkömmliche ABS-Regelstrategie zurückgegriffen (Gierrmomentbegrenzung und SelectLow).

Das Lenkwinkel-Korrektursystem arbeitet wie folgt:

Die Aktivierung des Verfahrens zur Kompensations-Lenkwinkelkorrektur wird in Abhängigkeit von einer erkannten μ -Split Situation freigegeben. Die Erkennung einer μ -Split Fahrsituation basiert nach einem vorteilhaften Ausführungsbeispiel auf folgenden Sensorsignalen:

- Bremslichtschaltersignal (BLS)
- Drucksensorsignal des Tandemhauptzylinders (THZ)
- Drucksensorsignale der Radbremskreise
- Raddrehzahlsensoren
- Gierratesensor(en)
- Querbeschleunigungssensor(en)
- interner ESP-Status (ESP-Signale bezüglich ESP-Eingriffe)

Mittels Gierrate und Querbefchleunigung wird zwischen einer Geradeausfahrt und einer Kurvenfahrt (Rechts- oder Linkskurve) unterschieden. Dabei müssen in Abhängigkeit von der Geradeausfahrt oder Kurvenfahrt folgende Signale vorliegen, um die Kompensations-Lenkwinkelkorrektur zu aktivieren:

Die Fahrsituation μ -Split wird bei Geradeausfahrt wie folgt erkannt:

Bremslichtschalter (BLS)-Signal liegt vor, BLS-Sensor ist in Ordnung, Bremsung durch Fahrer wird mittels THZ-Druck erkannt und Vorwärtsfahrt wurde erkannt und mindestens ein Vorderrad ist in der ABS-Regelung

oder wenn nach Überschreitung eines ersten zeitabhängigen Grenzwertes ein Vorderrad in der ABS-Regelung ist und das andere Vorderrad nicht in der ABS-Regelung ist oder wenn beide Vorderräder im ersten ABS-Zyklus sind und die Druckdifferenz an der Vorderachse größer als ein erster druckabhängiger Grenzwert ist oder wenn nach Überschreitung eines zweiten zeitabhängigen Grenzwertes beide Vorderräder in der ABS-Regelung sind und mindestens ein Vorderrad einen ABS-Blockierdruck von größer als einen zweiten druckabhängigen Grenzwert aufweist und der ABS-Blockierdruck an einem Vorderrad mindestens das x-fache des Blockierdrucks des anderen Vorderrads ist

Eine bereits erkannte Fahrsituation μ -Split bei Geradeausfahrt wird wie folgt zurückgesetzt:

Es ist kein Vorderrad in der ABS-Regelung oder es liegt kein BLS-Signal vor oder der BLS-Sensor ist defekt oder die Bremsung durch Fahrer wird nicht erkannt -

oder es liegt ein BLS-Signal vor und der BLS-Sensor ist in Ordnung und die Bremsung durch den Fahrer wird erkannt und nach Überschreitung eines zeitabhängigen Grenzwerts ist der ABS-Blockierdruck an beiden Vorderrädern kleiner als ein druckabhängiger Grenzwert oder der ABS-Blockierdruck an einem Vorderrad ist nicht mehr mindestens das x-fache des Blockierdrucks des anderen Vorderrads.

Die Fahrsituation μ -Split wird bei Kurvenfahrt wie folgt erkannt:

Das BLS-Signal liegt vor und der BLS-Sensor ist in Ordnung und die Bremsung durch Fahrer wird mittels THZ-Druck erkannt und Vorwärtsfahrt wurde erkannt und mindestens ein Vorderrad ist in der ABS-Regelung und

das kurvenäußere Vorderrad kommt zeitlich vor dem kurveninneren Vorderrad in ABS-Regelung

oder

wenn für länger als eine vorgegebene Zeitdauer beide Vorderräder in der ABS-Regelung sind und mindestens ein Vorderrad einen ABS-Blockierdruck von mehr als einen Grenzdruck aufweist und der ABS-Blockierdruck am kurveninneren Vorderrad mindestens das x-fache des Blockierdrucks des kurvenäußeren Vorderrads ist

Eine bereits erkannte Fahrsituation μ -Split bei Kurvenfahrt wird wie folgt zurückgesetzt:

Es ist kein Vorderrad in der ABS-Regelung oder es liegt kein BLS-Signal vor oder der BLS-Sensor ist defekt oder die Bremsung durch Fahrer wird nicht erkannt

oder das BLS-Signal liegt vor und der BLS-Sensor ist in Ordnung und die Bremsung durch Fahrer wird erkannt und für länger als eine vorgegebene Zeitdauer ist der ABS-Blockierdruck an beiden Vorderrädern kleiner als ein Grenzbremsdruck oder der ABS-Blockierdruck am kurveninneren Vorderrad ist nicht mehr mindestens das x-fache des Blockierdrucks des kurvenäußeren Vorderrads.

Kompensations-Lenkanforderung

Zur Aktivierung der Kompensations-Lenkanforderung muss zuvor die Fahrsituation μ -Split erkannt sein und die Kompensations-Lenkanforderung muss aktiviert worden sein, so wie vorstehend beschrieben. Die Lenkwinkelanforderung $\Delta\delta$ basiert auf zwei Anteilen: Der erste Anteil $\Delta\delta_z$ bestimmt sich mittels der Störgrößenkompensation (Steueranteil), die das wirkende Störgiermoment kompensiert. Diesem Steueranteil ist ein, auf dem Gierverhalten des Fahrzeugs basierender, Regelanteil $\Delta\delta_r$ überlagert. Die beiden nachfolgend beschriebenen Anteile (Steuer- und Regelanteil) werden addiert und ergeben die gesamte Lenkanforderung $\Delta\delta$ zu

$$\Delta\delta = \Delta\delta_z + \Delta\delta_r.$$

Die Lenkanforderung basiert auf folgenden Sensorsignalen:

- Drucksensorsignalen in jedem Radbremskreis
- Gierratensignalen
- Sollenkwinkelsignalen „Fahrerlenkwinkelwunsch“
- Summenlenkwinkelsignalen am Rad

- Raddrehzahlsensorsignalen
- Querschleunigungssignalen
- BLS-Signalen
- Drucksensorsignalen des THZ
- ESP-Status (ESP-Eingriffe)
- ESP-Status (Eispurmodell-Reset)

Steueranteil (Störgrößenkompensation)

Der Steueranteil der Lenkanforderung entspricht einer Störgrößen-Kompensation. Dabei wird das als Störgröße wirkende Störgiermoment M_z , welches aus den asymmetrischen Bremskräften herrührt, durch direkte Rückführung über die Kompensationsverstärkung $K_{FFW}(\bar{p}_{FA}, v)$ weitgehend kompensiert. Das geschätzte Störgiermoment ist dabei die direkte Eingangsgröße für die Zusatzlenkwinkelanforderung $\Delta\delta_z$ des Steueranteils (FFW = Feed Forward Control). Es gilt die Beziehung

$$\Delta\delta_z = K_{FFW}(\bar{p}_{FA}, v) \cdot M_z.$$

Das Störgiermoment wird mit Hilfe der kinematischen Starrkörperbeziehungen aus den Bremskräften der einzelnen Räder und dem Radeinschlagswinkel der Vorderräder geschätzt. Die statischen Bremskräfte der einzelnen Räder werden aus den ABS-Blockierdrücken der einzelnen Räder und den Dimensionen der Radbremse bestimmt. Zur Berechnung der dynamischen Bremskräfte müssen zusätzlich noch die Radbeschleunigungen

berücksichtigt werden. Die Bestimmung der ABS-Blockierdrücke wird später beschrieben.

Der Kompensationsverstärkungsfaktor $K_{FFW}(\bar{p}_{FA}, v)$ wird über dem mittleren Bremsdruck an der Vorderachse adaptiert. Wenn beide Vorderräder in der ABS-Regelung sind, entspricht der mittlere Bremsdruck der Vorderachse dem insgesamt (linke und rechte Fahrzeugseite gemittelt) zur Verfügung stehenden Reibwertpotential. Dieses Reibwertpotential hat wiederum auf den mit der aktiven Lenkung einzustellenden Kompensationslenkwinkel Einfluss.

Die Zusatzlenkwinkelanforderung $\Delta\delta_z$ wird bei kleinen Fahrgeschwindigkeiten (zwischen 10 und 2 km/h) linear bis auf $\Delta\delta_z = 0$ ausgefadet.

Zusammenfassung Steueranteil:

Der Lenkanteil basierend auf der Störgrößenkompensation ist im wesentlichen vom Radeinschlagwinkel der Vorderräder und von den ABS-Blockierdrücken, welche wie später beschrieben, im wesentlichen auf den Drucksensorsignalen und den ABS-Phaseninformationen (bestimmt aus den Raddrehzahlsensorsignalen) basieren, abhängig.

Regelanteil

Der auf dem Gierverhalten des Fahrzeugs basierende Regelanteil $\Delta\delta_R$ der Lenkanforderung besteht aus einem P-Anteil $\Delta\delta_{R,P}$ (Regelgröße Gierratenabweichung) und einem D-Anteil $\Delta\delta_{R,D}$ (Regelgröße Gierbeschleunigungsabweichung). Die nachfolgend

beschriebenen P- und D-Anteile addieren sich zum gesamten Regelanteil $\Delta\delta_R$ wie folgt

$$\Delta\delta_R = \Delta\delta_{R,P} + \Delta\delta_{R,D}.$$

P-Anteil (Gierratenabweichung)

Die Regelgröße für den P-Anteil ist die Gierratenabweichung $\Delta\dot{\psi}$. Für den aus dem P-Anteil resultierenden Lenkanforderungsanteil gilt das Regelgesetz

$$\Delta\delta_{R,P} = K_{FB,P}(v) \cdot \Delta\dot{\psi}.$$

Die Gierratenabweichung $\Delta\dot{\psi}$ ist als Differenz von gemessener Gierrate des Fahrzeugs $\dot{\psi}_{ist}$ und der aus dem Fahrerrichtungswunsch (Fahrerlenkwinkel inklusive variabler Lenkübersetzung) bestimmten Referenzgierrate des Fahrzeugs $\dot{\psi}_{ref}$ (Einspurmodell) definiert und ergibt sich somit zu

$$\Delta\dot{\psi} = \dot{\psi}_{ist} - \dot{\psi}_{ref}.$$

Die Ist-Gierrate des Fahrzeugs $\dot{\psi}_{ist}$ wird direkt mit einem Gierratensensor gemessen. Der Gierratensensor ist mit einem Querbeschleunigungssensor in einem Sensorcluster, in welchem sowohl die Gierrate sowie auch die Querbeschleunigung mit redundanten Sensorelementen gemessen werden.

Die Referenzgierrate des Fahrzeugs $\dot{\psi}_{ref}$ wird mit Hilfe eines Einspurmodells des Fahrzeugs bestimmt. Die wichtigsten Eingangsgößen für das Einspurmodell sind der Fahrerrichtungs-

wunsch (Fahrerlenkwinkel inklusive variabler Lenkübersetzungsanteile) und die Fahrzeuggeschwindigkeit. Der aktuelle Reibwert der Fahrbahn wird mit Hilfe der gemessenen Querbesehleunigung bestimmt und das sich daraus ergebende Reibwertpotential wird im Einspurmodell bei der Berechnung der Referenzgierrate berücksichtigt.

Der Verstärkungsfaktor $K_{FB,P}(v)$ für die Reglerrückführung der Gierratenabweichung $\Delta\dot{\psi}$ wird über der aktuellen Fahrzeuggeschwindigkeit v adaptiert. Da die Fahrzeuggeschwindigkeit das Fahrverhalten des Fahrzeugs wesentlich beeinflusst wird dies in der Reglerverstärkung und somit auch im über den Regler geschlossenen Regelkreis des Fahrzeugs berücksichtigt.

D-Anteil (Gierbesehleunigungsabweichung)

Die Regelgröße für den D-Anteil ist die Gierbesehleunigungsabweichung $\Delta\ddot{\psi}$. Für den aus dem D-Anteil resultierenden Lenkanforderungsanteil gilt das Regelgesetz

$$\Delta\delta_{R,D} = K_{FB,D}(v) \cdot \Delta\ddot{\psi}.$$

Die Gierbesehleunigungsabweichung $\Delta\ddot{\psi}$ wird durch Differentiation der Gierratenabweichung $\Delta\dot{\psi}$ ermittelt

$$\Delta\ddot{\psi} = \frac{d}{dt} \Delta\dot{\psi} = \frac{d}{dt} (\dot{\psi}_{ist} - \dot{\psi}_{ref})$$

Die Gierbesehleunigungsabweichung basiert somit auf den gleichen Signalquellen wie die Gierratenabweichung: Gemesse-

ne Ist-Gierrate des Fahrzeugs $\dot{\psi}_{ist}$ und der Referenzgierrate des Fahrzeugs $\dot{\psi}_{ref}$, die ihrerseits unmittelbar vom Fahrerlenkungswunsch (Fahrerlenkwinkel inklusive variabler Lenkübersetzungsanteile) und der Fahrzeuggeschwindigkeit abhängt. (Berücksichtigung des aktuellen Reibwerts der Fahrbahn mittels gemessener Querbesehleunigung).

Der Verstärkungsfaktor $K_{FB,D}(v)$ für die Reglerückführung der Gierbesehleunigungsabweichung $\Delta\ddot{\psi}$ wird über der aktuellen Fahrzeuggeschwindigkeit adaptiert. Da die Fahrzeuggeschwindigkeit das Fahrverhalten des Fahrzeugs wesentlich beeinflusst wird dies in der Reglerverstärkung und somit auch im über den Regler geschlossenen Regelkreis des Fahrzeugs berücksichtigt.

Zusammenfassung Regelanteil

Der Regelanteil $\Delta\delta_R$ basiert im wesentlichen auf dem Signal des Gierratensensors $\dot{\psi}$, des Fahrerwunschenlenkwinkels δ_{DRV} inklusive variabler Lenkübersetzung und der Fahrzeuggeschwindigkeit v , die ihrerseits auf den Signalen der Raddrehzahlsensoren basiert.

Berechnung des ABS-Blockierdrucks

Als ABS-Blockierdruck wird der Bremsdruck am Rad bezeichnet, bei dem das Rad zum blockieren neigt. Ist der Reibwert während einer ABS-Bremsung annähernd homogen, so pendelt der Bremsdruck am Rad immer um den ABS-Blockierdruck. Die Er-

mittlung des ABS-Blockierdrucks geschieht für jedes Rad individuell wie folgt:

Wenn das Rad nicht im ersten ABS-Regelzyklus ist und vom ABS erkannt wird, dass das Rad instabil ist und somit zum Blockieren neigt (ABS-Phase 2) und wenn das Rad in der Regel-Loop davor nicht auch schon in Phase 2 oder Phase 4 war, dann werden mindestens 85%, vorzugsweise 95% des aktuellen Raddrucks als ABS-Blockierdruck des Rads eingefroren. Ist das Rad weder in der ABS-Regelung oder im ersten ABS-Regelzyklus, so wird anstelle des ABS-Blockierdrucks der Raddruck verwendet. Wenn das Rad in der ABS-Regelung ist, aber nicht in Phase 2 ist, so wird das Maximum aus dem letztem ABS-Blockierdruck und 95% des Raddrucks verwendet, da bei Druckaufbauphasen der Raddruck größer werden kann, als der letzte ABS-Blockierdruck. Wenn ein Rad für länger als eine Zeidauer im Bereich zwischen 90 und 110 ms instabil ist (Phase 2), so wird nicht weiter der ABS-Blockierdruck verwendet, sondern der Raddruck, da sich der Raddruck durch die anhaltende Druckabbauphase viel zu weit vom ABS-Blockierdruck entfernt hat.

Ist der Raddruck weniger als 50% des letzten ABS-Blockierdrucks oder beträgt der Bremsschlupf des Rads mehr als 50%, so wird auch auf den Raddruck zurückgegriffen (Erkennung eines Reibwertübergangs von Hochreibwert zu Niedrigreibwert).

Wenn an dem Rad ein ESP-Eingriff stattfindet, wird der ABS-Blockierdruck nicht mitgeführt, sondern konstant gehalten.

Wenn der Fahrer nicht mehr bremst, so werden die ABS-Blockierdrücke auf null zurückgesetzt.

Zusammenfassung:

Die Bestimmung des Blockierdrucks basiert im wesentlichen auf den Drucksensorsignalen und die benötigte ABS-Phaseninformation basiert im wesentlichen den Raddrehzahl-sensoren.

ABS-Phaseninformationen und ABS-Regelzyklus:

ABS-Phase	Zustand des Rads	ABS-Aktion
Phase 0	keine ABS-Regelung	ungepulster Druckaufbau
Phase 1	keine ABS-Regelung, leichte Raddynamik	gepulster Druckaufbau
Phase 2	Rad instabil, tiefer Schlupfeinlauf am Rad	Druckabbau
Phase 4	Rad instabil, Rad läuft aus dem Schlupf	Druck halten, gepulster Druckaufbau
Phase 3	Rad stabil, wenig Schlupf am Rad	gepulster Druckaufbau
Phase 1 aus 3	Rad zeigt leichte Dynamik	Druck halten
Phase 5 aus 0	Rad dreht über	ungepulster Druckaufbau
Phase 5 aus 3	Rad dreht über	ungepulster Druckaufbau

Aktivierung der Select-Low Aufweichung

Eine Aktivierung der Aufweichung des Select-Low Prinzips erfolgt beispielsweise nur, wenn die Situation μ -split erkannt wurde, das Fahrzeug sich in einer Geradeausfahrt und nicht in einer Kurvenfahrt (nicht curve-split) befindet, nur ein Rad der Hinterachse sich in ABS-Regelung befindet, die Niedrigreibwertseite eindeutig erkannt ist und wenn vorhanden die Drucksensoren an der Hinterachse für die präzise Einregelung der Druckdifferenz fehlerfrei arbeiten.

gelung der Druckdifferenz fehlerfrei arbeiten. Wenn die Select-Low Aufweichung nicht über mindestens oben genannte Bedingungen aktiviert wird, wird nach der normalen ABS-Regelstrategie weiterverfahren.

Bestimmung der Bremsdruckdifferenz an der Hinterachse

Aus fahrdynamischen Größen wird der aktuelle Fahrzustand in Form eines Stabilitätsindex bestimmt. Dieser Stabilitätsindex berechnet sich z.B. aus der aktuellen Gierrate des Fahrzeugs, der Gierratenabweichung, der Gierbeschleunigungsabweichung, dem Lenkwinkel bzw. bei aktiv gegenlenkenden System der vom Fahrdynamikregelsystem automatisch zugestellte Gegen-Lenkwinkel und/oder weiteren fahrdynamisch relevanten Größen wie Schwimmwinkel, Schwimmwinkelgeschwindigkeit und/oder Querbewegung. Das Vorzeichen des Stabilitätsindex ergibt sich dabei aus der vorliegenden Richtung der Störung (Niedrigreibwertseite links oder rechts). D.h. dass zum Beispiel wenn die Niedrigreibwertseite auf der linken Seite ist, die Störung das Fahrzeug in Richtung der Hochreibwertseite, also nach rechts (negative Gierrate), gieren lässt. Giert das Fahrzeug in dieser Situation allerdings auch in Richtung Niedrigreibwert, also nach links (positive Gierrate), so ist das Fahrzeug stabil und es ergibt sich ein positiver Stabilitätsindex. Im umgekehrten Fall, dass die Niedrigreibwertseite auf der rechten Seite ist, so zeugt eine Gierbewegung des Fahrzeugs nach rechts (negative Gierrate) von Stabilität und es ergäbe sich ohne Berücksichtigung, ob die Niedrigreibwertseite links oder rechts ist, ein negativer Stabilitätsindex. Daher wird, wenn die Niedrigreibwertseite auf der rechten Seite ist, der aus den fahrdynamischen Größen ermittelte Stabilitätsindex mit (-1) multipliziert. Somit deutet ein positiver großer Wert

des Stabilitätsindex auf Stabilität des Fahrzeugs hin, ein negativer Wert oder ein Wert nahe null hingegen auf Instabilität bzw. Grenzwertigkeit der Fahrzeugstabilität.

Wenn der Stabilitätsindex positiv ist und einen gewissen Schwellenwert „pinc_thr“ überschreitet, wird ein Druckaufbau am Hinterrad auf der Hochreibwertseite mit einem bestimmten Druckaufbaugradienten (abhängig vom Wert des Stabilitätsindex) zugelassen. Dieser Druckaufbau zur Bremswegoptimierung ist in dieser Situation zulässig ohne das Fahrzeug dadurch zu destabilisieren, da das Fahrzeug ein hohes Maß an Stabilität aufweist.

Wenn der Stabilitätsindex kleiner ist als der Schwellwert „pdec_thr“, so wird am Hinterrad auf der Hochreibwertseite der Bremsdruck abgebaut und zwar mit einem vom Stabilitätsindex abhängigen Druckabbaugradienten. Somit wird das Seitenkraftpotential an der Hinterachse wieder erhöht und somit einer drohenden Instabilität entgegengewirkt bzw. diese verhindert.

Wenn der Stabilitätsindex zwischen den beiden Schwellwerten liegt, wird der Bremsdruck am Hochreibwert-Hinterrad konstant gehalten (grenzwertiges Fahrzeugverhalten).

Unabhängig von der Größe des Stabilitätsindex wird, wenn das Hinterrad auf der Hochreibwertseite eine Blockiertendenz (Rad tief im Schlupf) zeigt, an diesem Hinterrad der Bremsdruck abhängig vom aktuellen Radschlupf abgebaut (maximal auf den Bremsdruck des Niedrigreibwertrads = Select-Low) falls dies nicht bereits vom ABS-System initiiert worden ist. Somit wird an der Hinterachse immer ausreichend Seitenkraftpotential zur Verfügung gestellt um die Sta-

bilität des Fahrzeugs zu gewährleisten.

Begrenzung der Bremsdruckdifferenz an der Hinterachse

Um an der Hinterachse immer ausreichend Seitenkraftpotential zu gewährleisten wird die Druckdifferenz an der Hinterachse bzw. der Bremsdruck am Hochreibwertrad in Bezug auf den Bremsdruck am Niedrigreibwertrad begrenzt.

Gleichungen:**1. Schätzung der Bremskräfte aus den Bremsdrücken:**

Bilanzgleichung eines Rads bei Vernachlässigung von Antriebsmoment und unter der Annahme, daß die Radaufstandskraft im Radaufstandspunkt angreift

$$J_{whl} \dot{\omega}_i = M_{br,i} + F_{x,i} r_{whl}.$$

Daraus ergibt sich mit dem Bremsmoment $M_{br,i} = B^* p_i$ für die Schätzung der Umfangskraft $\hat{F}_{x,i}$ aus Bremsdruck und Radbeschleunigung

$$\hat{F}_{x,i} = \frac{1}{r} B^* p_i + \frac{1}{r} J_{whl} \dot{\omega}_i.$$

Bei geringeren Genauigkeitsanforderungen kann der dynamische Anteil $\frac{1}{r} J_{whl} \dot{\omega}_i$ vernachlässigt werden und stationär ergibt sich für die Bremskraft der Zusammenhang

$$\hat{F}_{x,i} = \frac{1}{r} B^* p_i.$$

2. Schätzung des Störgiermoments aus den Bremskräften

Das Störgiermoment ergibt sich für Fahrzeuge mit Vorderradlenkung mit dem Radeinschlagswinkel δ und der Fahrzeuggeometrie nach Abbildung 8 zu

$$\hat{M}_z = \cos(\delta) [\hat{F}_{FL} s_{FL} - \hat{F}_{FR} s_{FR}] - \sin(\delta) [\hat{F}_{FL} l_F + \hat{F}_{FR} l_F] + \hat{F}_{RL} s_{RL} - \hat{F}_{RR} s_{RR}.$$

3. SelectLow:

An der Hinterachse wird abhängig vom fahrdynamischen Zustand eine Druckdifferenz zugelassen. Für die zugelassene Druckdifferenz an der Hinterachse gilt

$$\Delta p_{HA} = f(\dot{\psi}, \delta_{WH}, v, a_y)$$

Patentansprüche:

1. Bremsdruck-Regelverfahren, bei dem Größen ermittelt werden, die durch Bremsvorgänge auf unterschiedlichen Fahrbahnreibungswerten (μ -split) ausgelöste unterschiedliche Bremskräfte wiedergeben, wobei ein an den einzelnen Rädern hervorgerufenen Gierverhalten eines Fahrzeugs, das mindestens aus dem ermittelten Bremskraft-Unterschied bestimmt wird, durch einen Eingriff in ein steuerbares bzw. regelbares Lenksystem des Fahrzeugs zumindest teilkompensiert wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Regelstrategie des Bremsdruck-Regelverfahrens in Abhängigkeit vom fahrdynamischen Zustand des Fahrzeugs aus wenigstens zwei Regelstrategien ausgewählt wird und bei der einen Regelstrategie wenigstens eine Unterscheidung zwischen einer Geradeausfahrt und einer Kurvenfahrt des Fahrzeugs getroffen wird.
2. Bremsdruck-Regelverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der einen Regelstrategie der Bremsdruck an einer Achse des Fahrzeugs nach dem „Select-Low Prinzip“ geregelt wird, bei dem der Bremsdruck an den beiden Rädern der Achse auf den gleichen Bremsdruck des Rades auf der Niedrigreibungswertseite geregelt wird.
3. Bremsdruck-Regelverfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der anderen Regelstrategie der Bremsdruck an einer Achse des Fahrzeugs radindividuell geregelt wird, wobei an beiden Rädern der

Achse unterschiedliche Bremsdrücke der Räder in Abhängigkeit vom aktuellen Fahrzustand bestimmt werden.

4. Bremsdruck-Regelverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die andere Regelstrategie aktiviert wird, wenn mindestens eine, vorzugsweise einige oder alle der folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- a) das Fahrzeug befindet sich in einer Geradeausfahrt
- b) es wird eine Fahrsituation mit seitenweise unterschiedlichen Reibwerten erkannt
- c) es befindet sich nur ein Rad in der ABS-Regelung
- d) die Niedrigreibwertseite wird erkannt
- e) die Druckdifferenz an den Rädern kann kontrolliert werden.

5. Bremsdruck-Regelverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **gekennzeichnet** durch die Schritte
- Ermitteln eines Stabilitätsindex aus fahrdynamischen Größen, die die Gierrate des Fahrzeugs, die Abweichung der Gierrate von der Referenzgierrate (ESP-Regeldifferenz), die Gierbeschleunigungsabweichung, dem Lenkwinkel bzw. dem zugestellten Gegen-Lenkwinkel eines aktiven Lenksystems und/oder Größen wie Schwimmwinkel, Schwimmwinkelgeschwindigkeit und/oder Querbeschleunigung wiedergeben, und
- Einsteuern bzw. Modifizieren eines Bremsdruckes mit einem Druckaufbau- und/oder Druckabbaugradienten am Hochreibwertrad in Abhängigkeit von dem berechneten Stabilitätsindex.

6. Bremsdruck-Regelverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Druckdifferenz

zwischen dem Rad auf der Niedrigreibwertseite und dem Rad der Hochreibwertseite begrenzt wird.

7. Bremsdruck-Regelverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei Ausfall des steuerbaren bzw. regelbaren Lenksystems auf die herkömmliche ABS Regelstrategie zurückgegriffen wird.
8. Fahrdynamikregler mit mindestens einer ESP und einer ABS Funktion, die mit einem Regler und/oder einer Steuerung zur Lenkungskorrektur verbunden sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Regler so ausgebildet ist, dass er das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6 ausführt.

Zusammenfassung

Bremsdruck-Regelverfahren

Die Erfindung betrifft ein, bei dem GröÙen ermittelt werden, die durch Bremsvorgänge auf unterschiedlichen Fahrbahnreibungswerten (μ -split) ausgelöste unterschiedliche Bremskräfte wiedergeben, wobei ein an den einzelnen Rädern hervorgerufenen Gierverhalten eines Fahrzeugs, das mindestens aus dem ermittelten Bremskraft-Unterschied bestimmt wird, durch einen Eingriff in ein steuerbares bzw. regelbares Lenksystem des Fahrzeugs zumindest teilkompensiert wird. Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Regelstrategie des Bremsdruck-Regelverfahrens in Abhängigkeit vom fahrdynamischen Zustand des Fahrzeugs aus wenigstens zwei Regelstrategien ausgewählt wird und bei der einen Regelstrategie wenigstens eine Unterscheidung zwischen einer Geradeausfahrt und einer Kurvenfahrt des Fahrzeugs getroffen wird. Fig.13

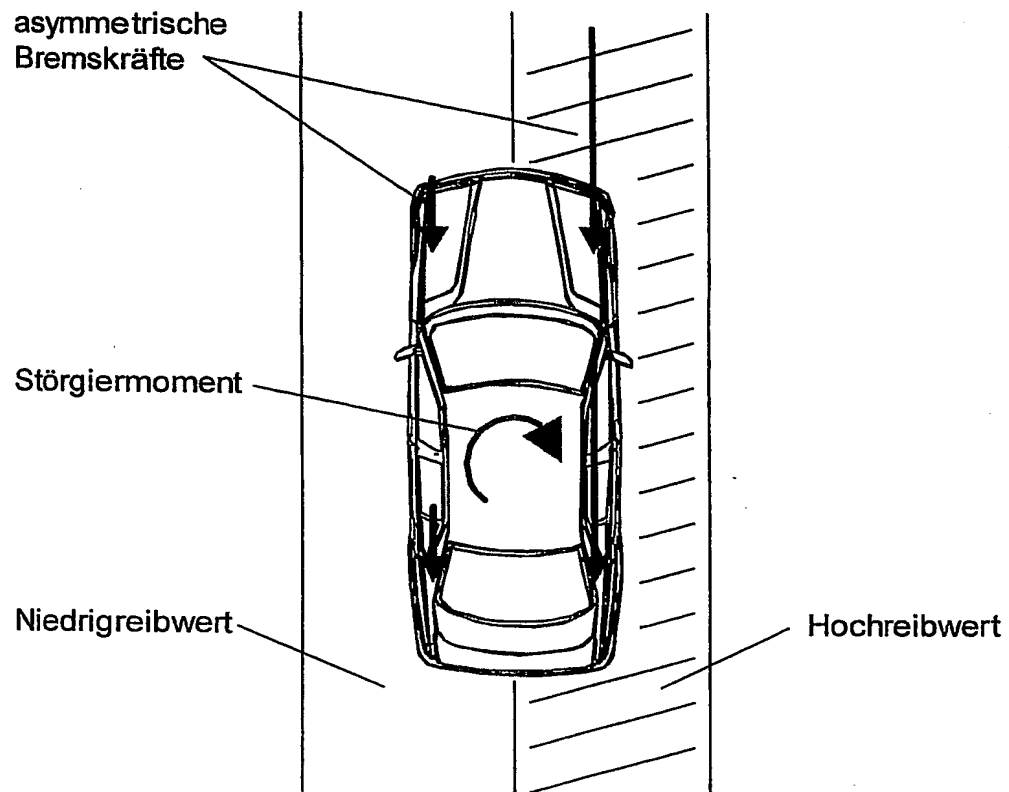


Bild 1: asymmetrische Bremskräfte und Störgiermoment

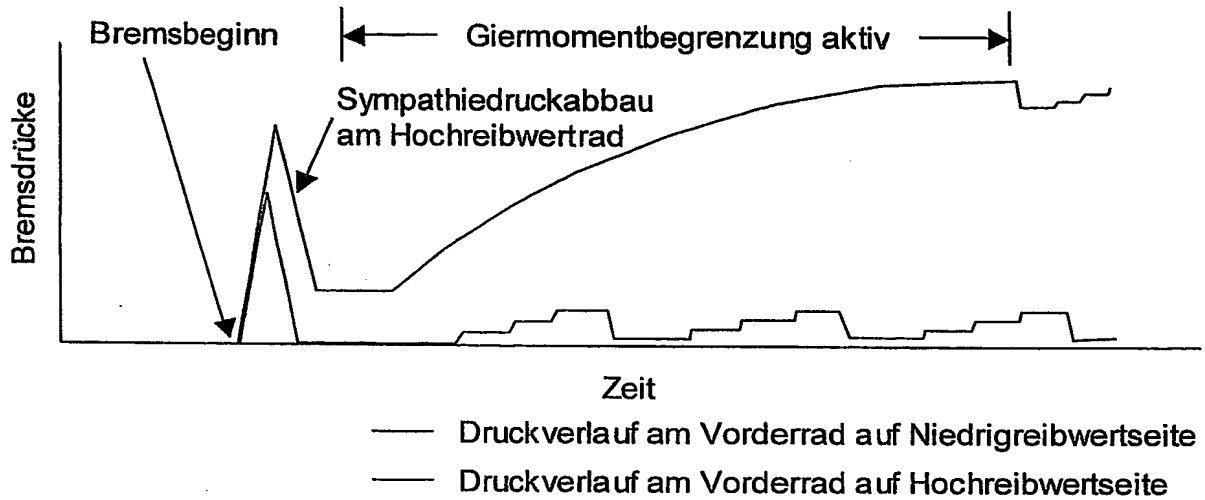


Bild 2a: Druckverlauf an Vorderachse bei aktiver Gierrmomentbegrenzung

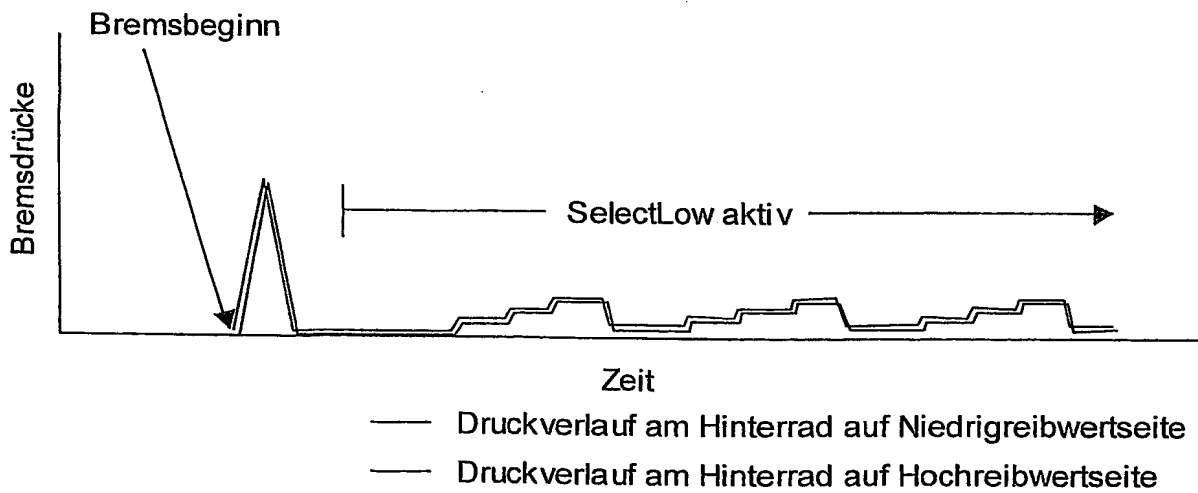


Bild 2b: Druckverlauf an Hinterachse bei aktivem SelectLow

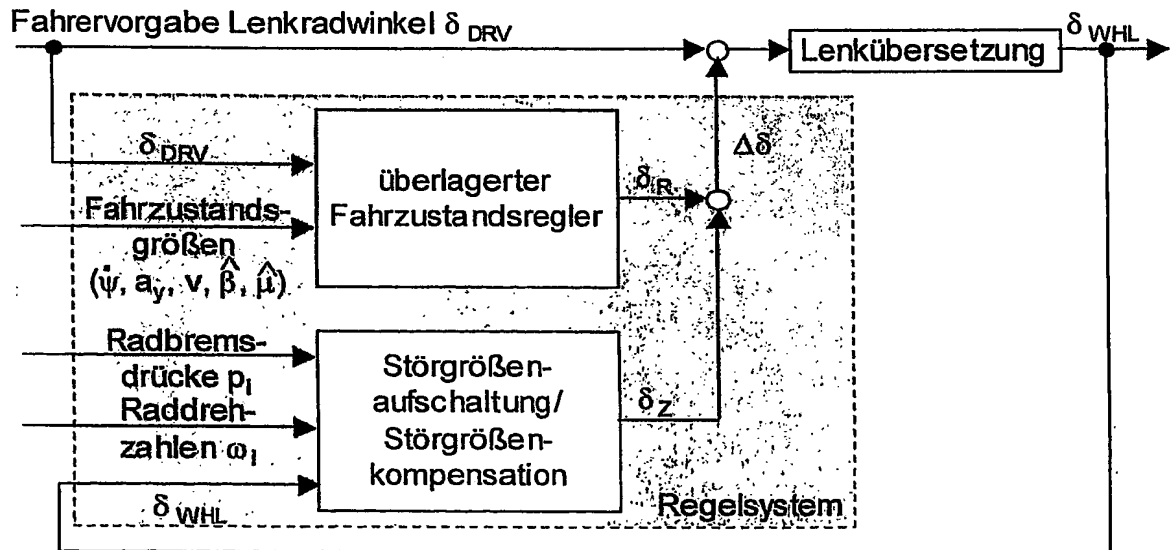


Bild 3: Blockschaltbild mit Darstellung des Regelsystems mit Störgrößen-aufschaltung und überlagerter Fahrzustandsregelung

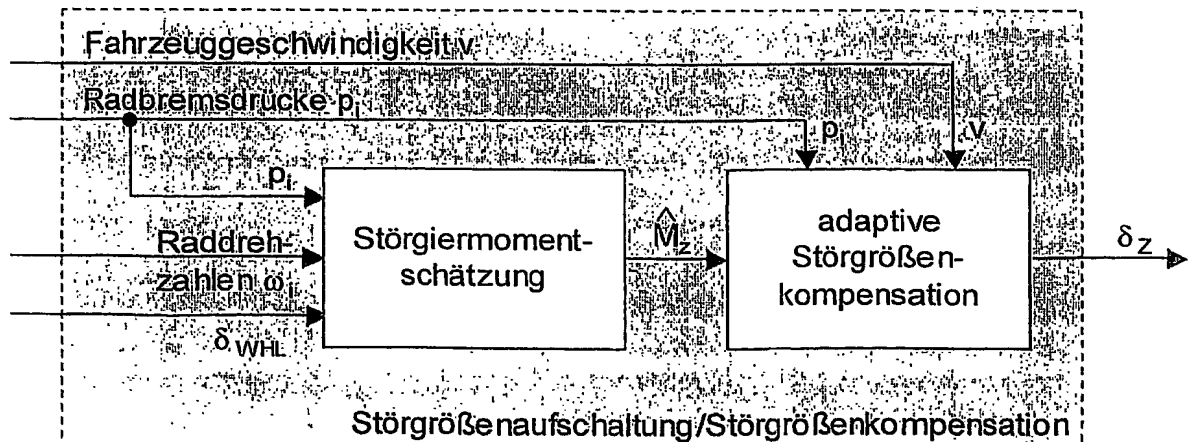


Bild 4: Störgrößen-aufschaltung mit Schätzung des Störgiermoments

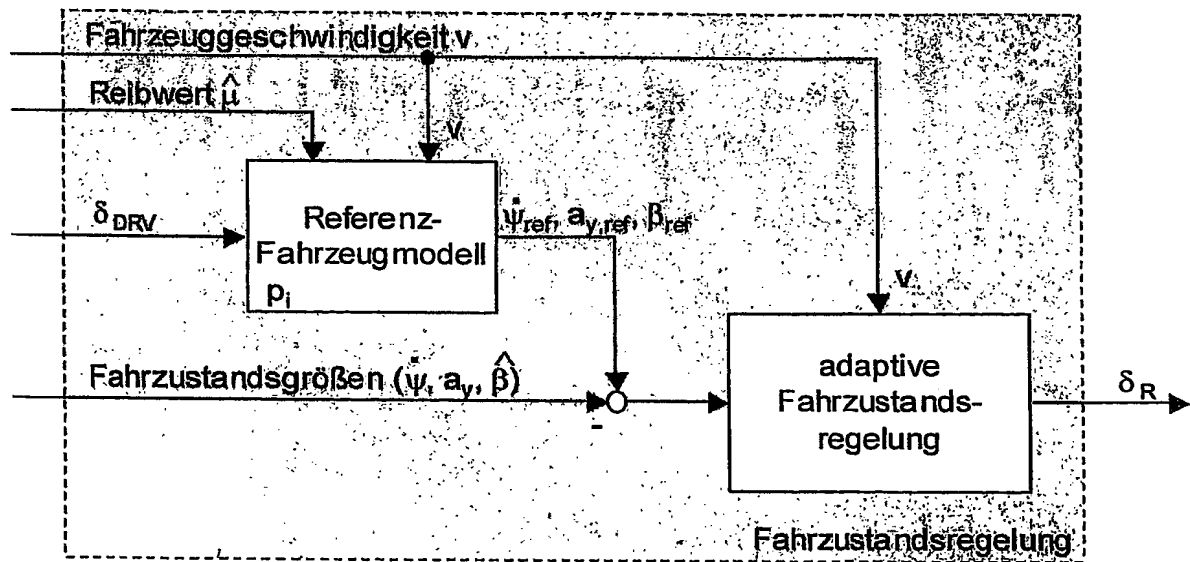


Bild 5: Überlagerte Fahrzustandsregelung

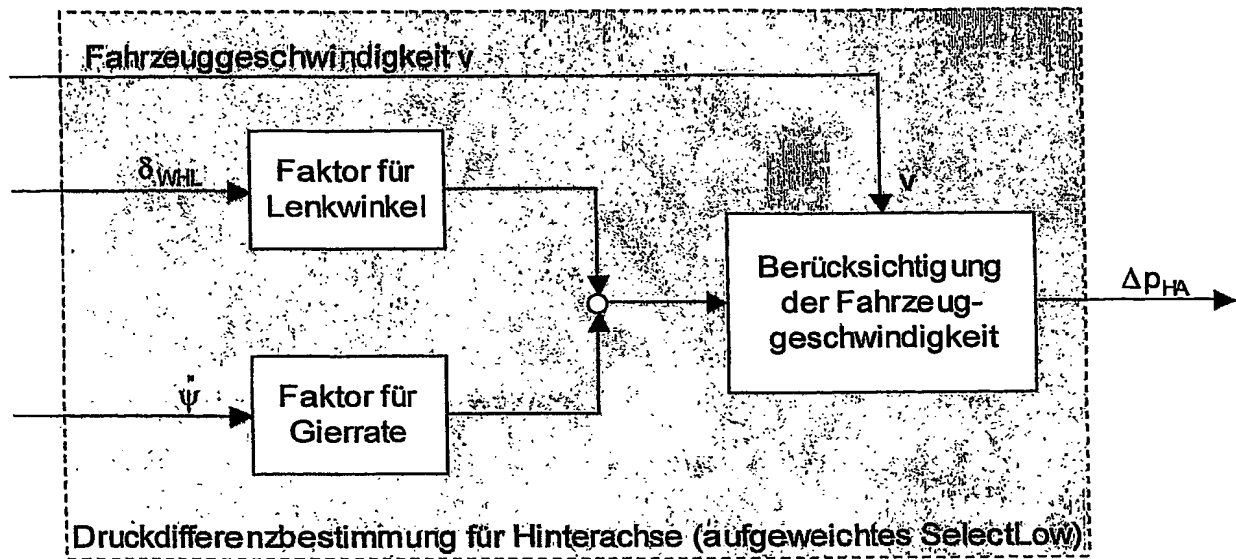


Bild 6: Bestimmung der Druckdifferenz an der Hinterachse aus dem fahrdynamischen Zustand des Fahrzeugs

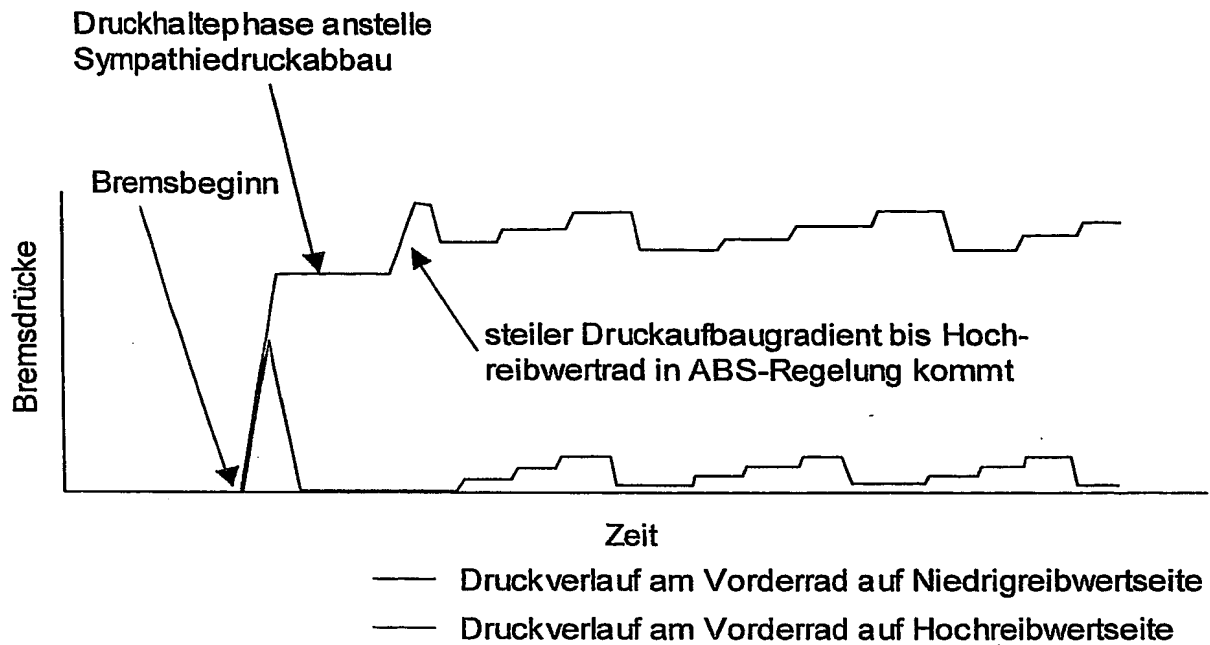


Bild 7a: Druckverlauf an Vorderachse mit angepaßter Gierrmomentbegrenzung
(ermöglicht aufgrund automatischen Gegenlenken des Regelsystems)

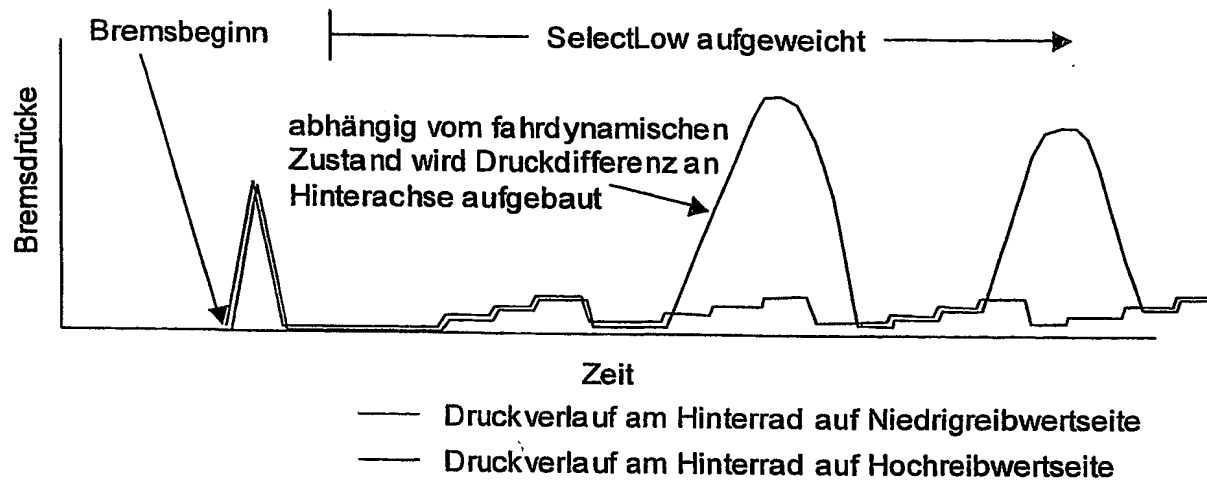


Bild 7b: Druckverlauf an Hinterachse aufgrund Aufweichung des SelectLows
(ermöglicht durch automatisches Gegenlenken des Regelsystems)

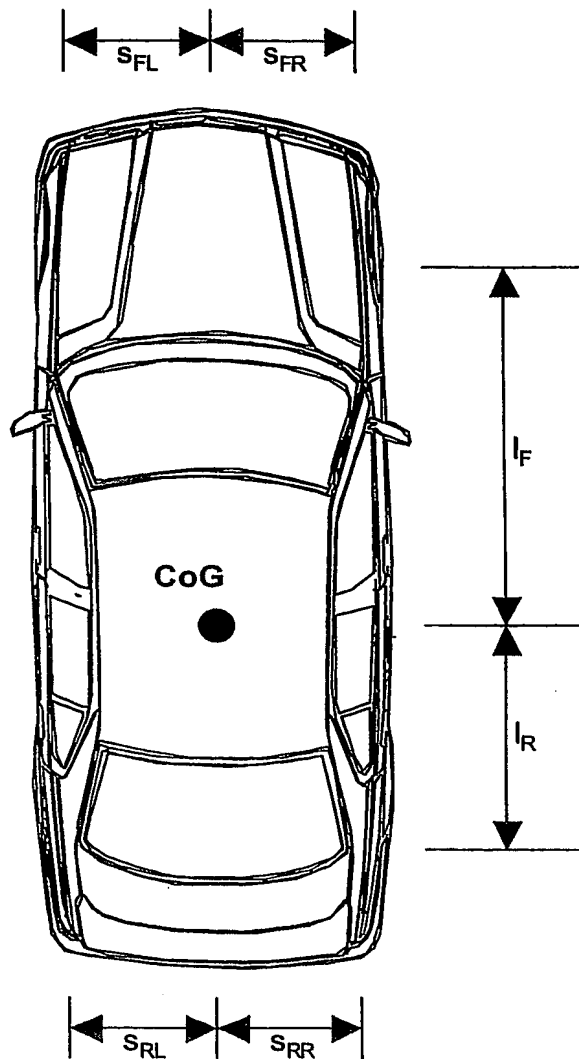


Bild 8: Fahrzeuggeometrie

Figur 9

ABS-Regelzyklus:

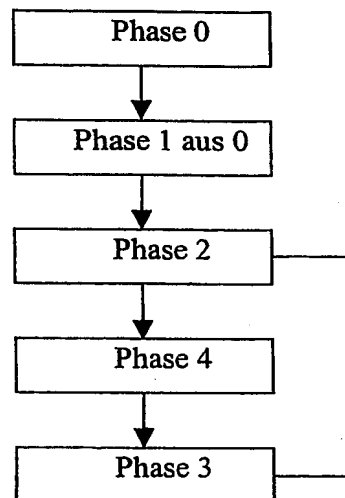
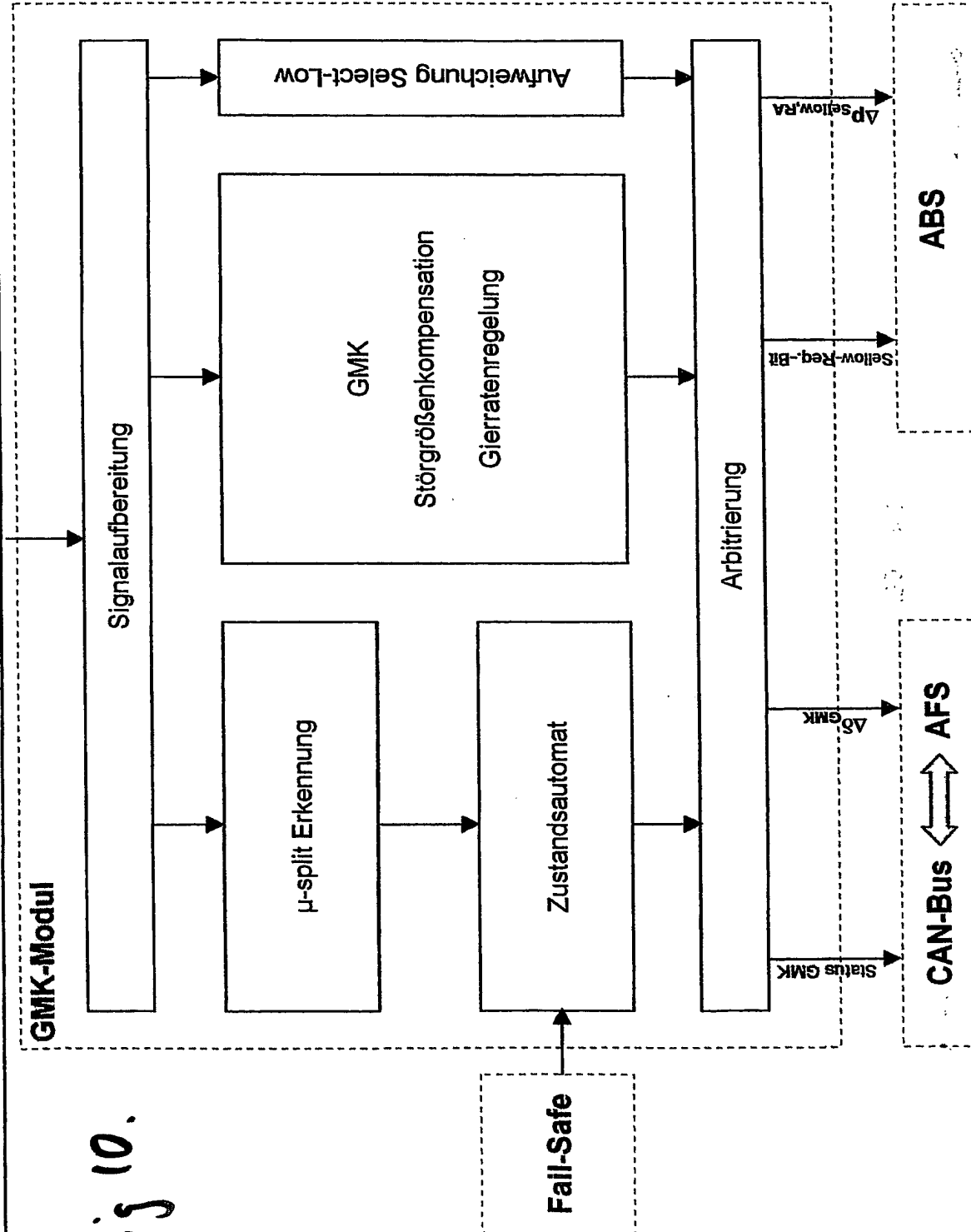
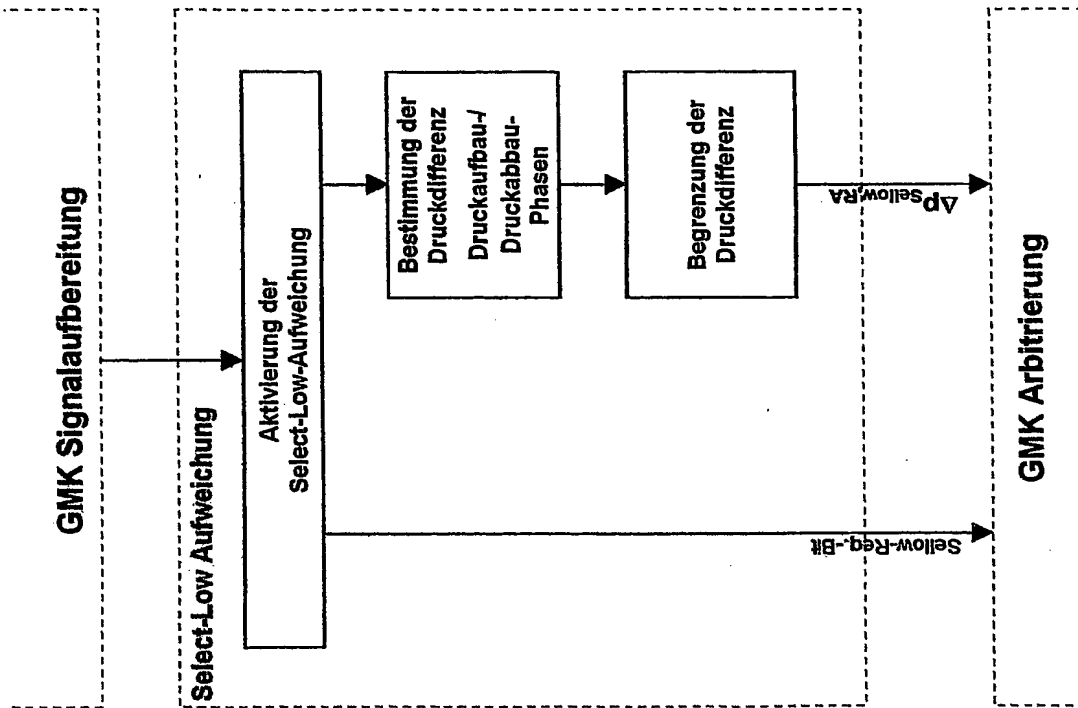


Fig 10.



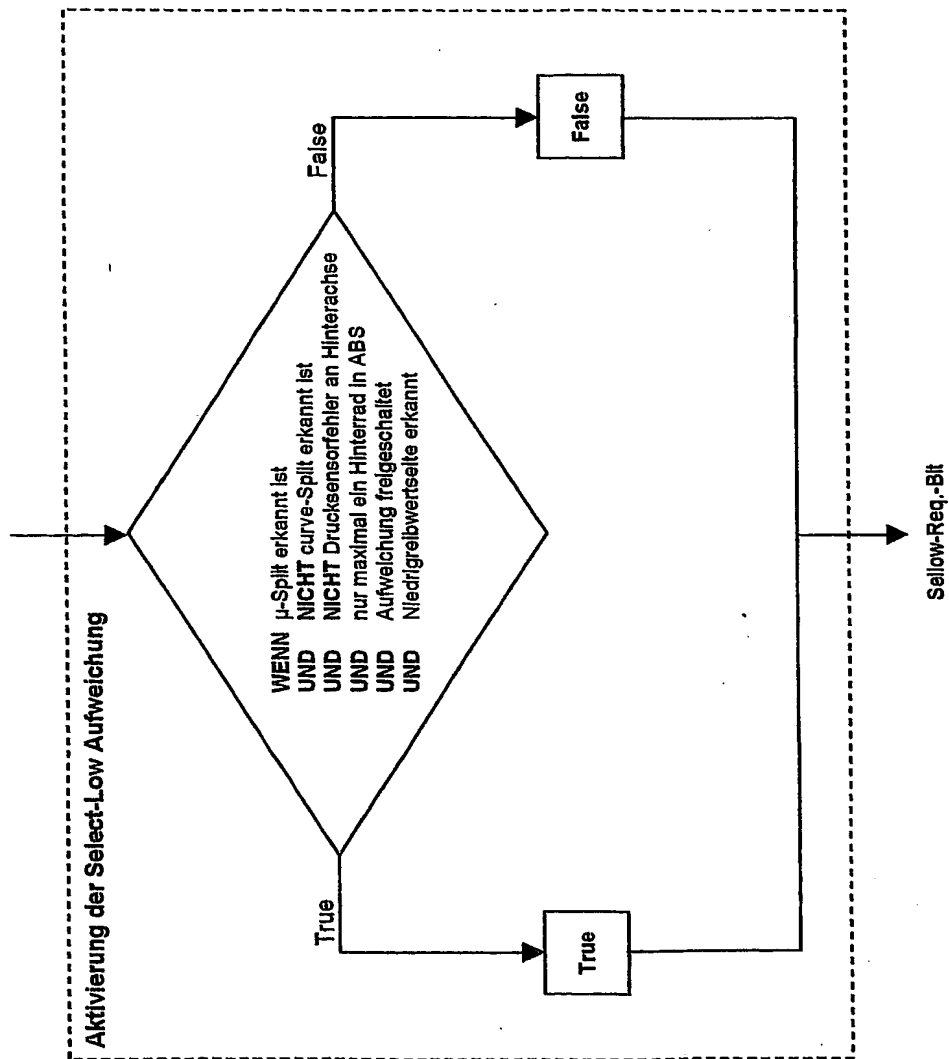
GMK
- SW-Struktur -

Fig 11



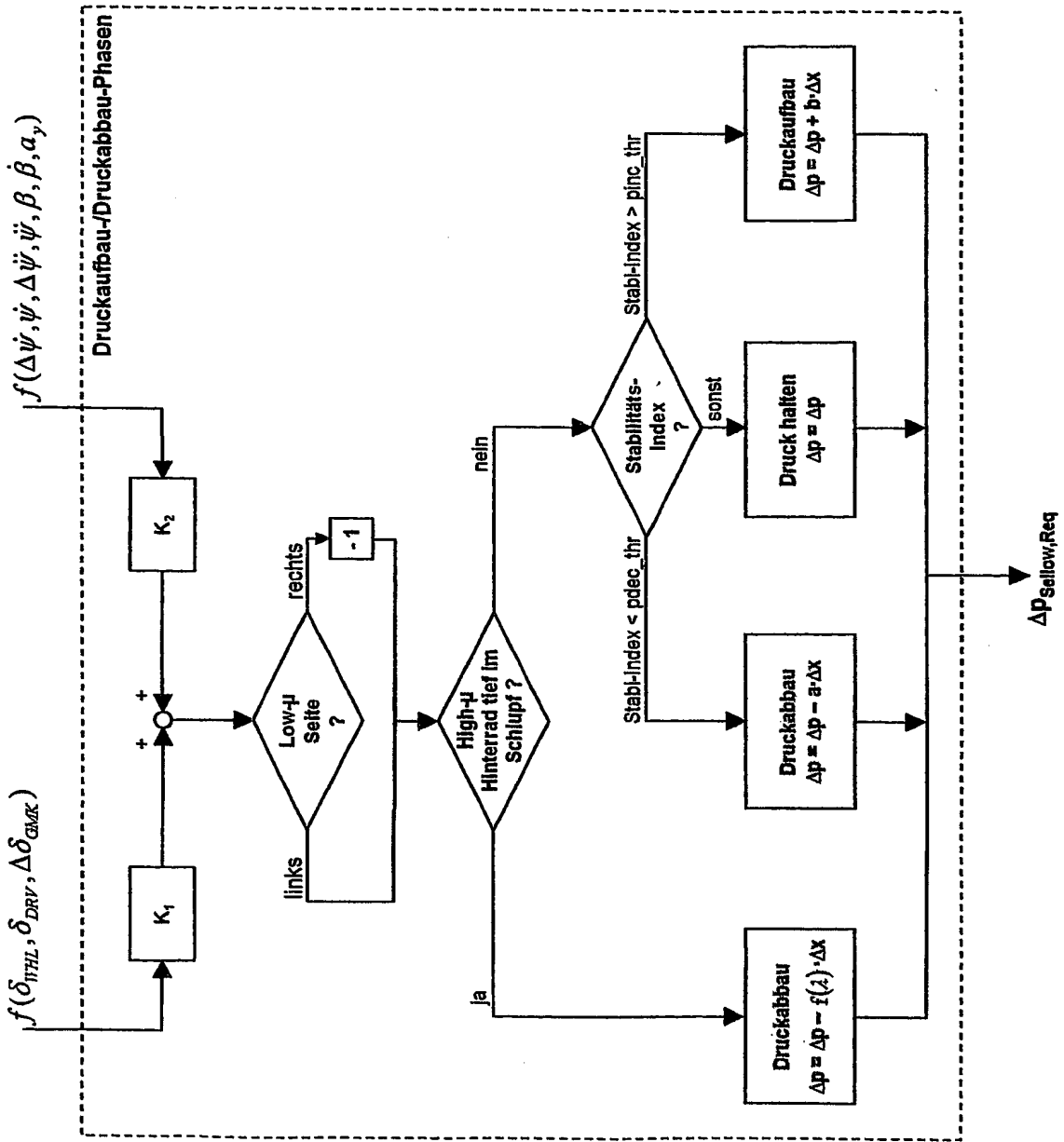
GMK Select-Low Aufweichung
- Signalfluß -

Fig 12



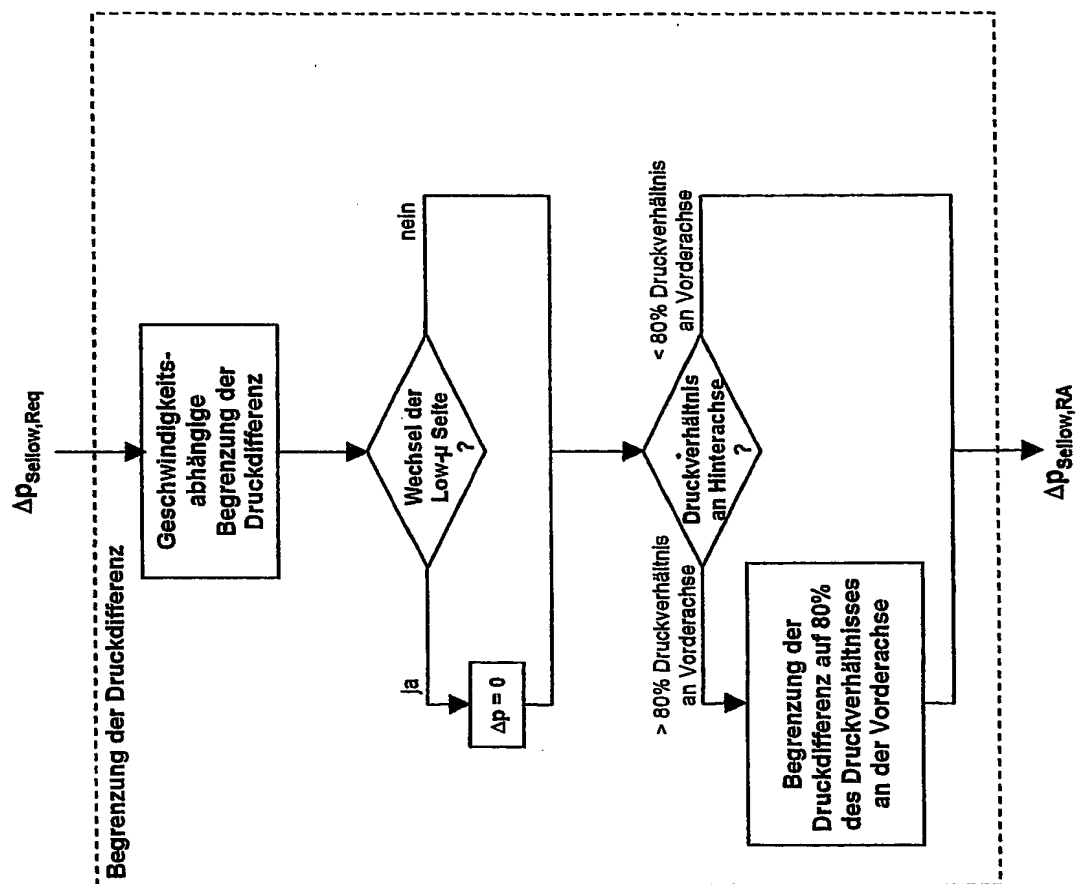
P 10856

Fig 13.



GMK Select-Low Aufweicheung
- Druckaufbau-/Druckabbau-Phasen -

Fig 14



Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP04/053627

International filing date: 21 December 2004 (21.12.2004)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE
Number: 103 61 495.8
Filing date: 23 December 2003 (23.12.2003)

Date of receipt at the International Bureau: 18 February 2005 (18.02.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record.**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.